

Kystverket

Kjøllefjord Havn

Alternativ med innseiling tilpasset Hurtigruta



Oppdragsnr.: 5150241 Dokumentnr.: 1 Versjon: 2
2016-12-20

Oppdragsgiver: Kystverket
Oppdragsgivers kontaktperson: Cato Solberg
Rådgiver: Norconsult AS, Klæbuveien 127 B, NO-7031 Trondheim
Oppdragsleder: Arne E Lothe
Fagansvarlig: Arne E Lothe
Andre nøkkelpersoner: Onno Musch

2	2016-12-20	Korrigert, utvidet	Arne E Lothe	Onno Musch	Nils Petter Botten
1	2016-10-12	Utkast	Arne E Lothe	Onno Musch	Nils Petter Botten
Versjon	Dato	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontrollert	Godkjent

Dette dokumentet er utarbeidet av Norconsult AS som del av det oppdraget som dokumentet omhandler. Opphavsretten tilhører Norconsult. Dokumentet må bare benyttes til det formål som oppdragsavtalen beskriver, og må ikke kopieres eller gjøres tilgjengelig på annen måte eller i større utstrekning enn formålet tilsier.

Sammendrag

Et alternativ til en løsning for forbedring av havna i Kjøllefjord er undersøkt i numerisk modell. Alternativet ble utarbeidet under et møte i Kjøllefjord med interessenter i havna 2016-09-05.

Analysen viser at det foreslåtte alternativet gir en god dekning i havna mot bølger, og at det også gir akseptable innseilingsforhold. Rapporten konkluderer med at alternativet bør videreutvikles.

Innhold

1	INNLEDNING	5
2	TIDLIGERE ANALYSER OG HISTORIKK	6
3	NYE ALTERNATIVER	7
4	METODE	9
5	RESULTATER	12
5.1	Forbedringspotensial for havna	12
5.2	Bølgehøyder i havna	14
5.3	Generell skjerming av havna	16
6	LANGPERIODISKE BØLGER OG HAVNESVINGNINGER	19
7	LOKALE VINDBØLGER INNE I HAVNA	23
8	KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER	26
8.1	Konklusjoner	26
8.2	Anbefalinger	26
9	REFERANSER	27

1 INNLEDNING

Lebesby kommune og Kystverket har et ønske om å forbedre forholdene i Kjøllefjord Havn. Havna ligger innerst i Kjøllefjorden. Den ytre delen av Kjøllefjorden er eksponert for udempede havbølger fra retnings-sektoren 300° - 30° , men den indre delen av fjorden med havna ligger relativt godt beskyttet, se Figur 1.

Det er likevel en del bølgeuro i havna, og man ønsker å forbedre situasjonen ved å undersøke muligheten for å bygge moloer. Kommunen ønsker å videreutvikle den nordlige delen av havna, men forutsetter samtidig at anløpsbetingelsene for Hurtigruta fortsatt skal være akseptable og at det ikke skal bli flere kansellerte anløp med begrunnelse i havneforholdene.



Figur 1 Oversiktskart

2 TIDLIGERE ANALYSER OG HISTORIKK

SINTEF undersøkte i 2001 forholdene i havna i laboriemodell (ref.1). Det ble den gangen undersøkt hvilken effekt 18 ulike moloer, noen med flere lengder og i kombinasjon med hverandre, vil ha på bølgeforholdene i havna.

Modellforsøkene ga ingen klare indikasjoner på en realistisk løsning som ville skape gode forhold i havna. Kystverket har senere ønsket å få utredet flere alternativer i en numerisk modell, spesielt nye alternativer med utgangspunkt i neset "Klubben" (Figur 1).

En ny undersøkelse ble levert av Norconsult i januar 2015, der det blant annet ble konstatert at bølgerrefleksjon fra sørsida av fjorden, nær Breivika, er en viktig årsak til at bølgene i havna oppfattes som problematiske.

Akvaplan NIVA har på oppdrag fra Lebesby Kommune undersøkt muligheter for levende-lagring av torsk i Kjøllefjord, se ref. 3. I denne rapporten fra mars 2016 er det utført en bølgemodellering, men det er ikke vurdert noen alternativer for moloer. Bølgemodellen som er benyttet er en forenklet modell som ikke inkluderer refleksjonseffekter.

I mars 2016 ble det levert et notat fra Norconsult (ref. 4) der et nytt alternativ kalt EX1 + BX ble vurdert. Dette alternativet består av to møtende moloer, og gav gode forhold inne i havna, men innseilingen for Hurtigruta er (meget) vanskelig, og byggingen vil kreve store mengder fyllinger i sjøen.

Det ble arrangert et møte i Kjøllefjord 2016-09-05. Representanter for kommunen, Kystverket, Hurtigruta og brukere (industri og fiskere) deltok i møtet, der hensikten var å diskutere videre framdrift i prosjektet. Grunnlaget for å ønske videre framdrift er konklusjonen fra notatet i ref. 4. Konklusjonen herfra er oppsummert som følger.

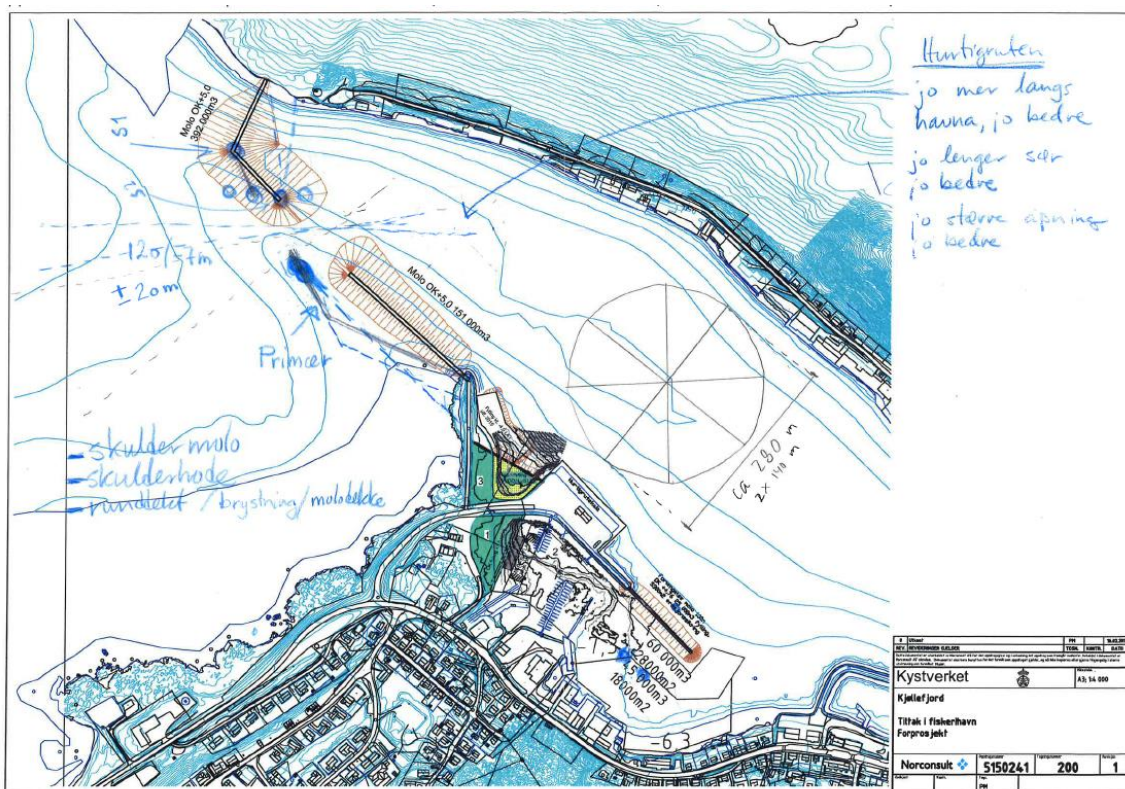
- ☐ Alternativet EX1 + BX (to møtende moloer) gir meget gode forhold i havna
- ☐ Det vil være mulig å justere traseen for moloene noe slik at innseilingen blir bedre, samtidig som forholdene inne i havna fortsatt er akseptable (men ikke like gode som i alternativ EX1 + BX).

Et eventuelt prosjekt for nye moloer i Kjøllefjord vil bli meget omfattende og involvere molo-fyllinger på dybder opp til ca 35 m. Det er viktig for framdriften i prosjektet at det legges fram en realistisk plan som kan komme inn som en del av Nasjonal Transportplan.

3 NYE ALTERNATIVER

I møtet i Kjøllefjord i september 2016 ble det utarbeidet en skisse for en y utredning basert på en justering av alternativet EX1 + BX. Skissen som man ble enige om å arbeide videre med er vist i Figur 2.

I denne skissen tar man utgangspunkt i plasseringen av de to møtende moloer som finnes i alternativet EX1 + BX (noen ganger kalt EX215 + BX230), vist med brun farge i Figur 2. Det nye alternativet er gitt navnet P_S1¹.



Figur 2 Skisse til nye alternativer utarbeidet under møtet i Kjøllefjord 2106-09-05.

Ved justeringen har man stilt følgende krav til innseilingen til havna.

1. Innseilingen for Hurtigruta skal skje ved en kurs på ikke lavere enn 90° (sjøkartets kurser)
2. Tilgjengelig bredde av innseilingen (målt vinkelrett på innseilingskursen) skal ikke være mindre enn 120 m målt ved 7.0 m dybde
3. Det etableres først en molo med utgangspunkt i dagens molo. Denne kalles primærmoloen og trekkes så langt vest som mulig.
4. Den møtende moloen fra fra nordsiden (Klubben) gjøres så lang at kravene til innseiling i Punkt 1 og 2 over er oppfylt.

Under møtet ble det uttrykt ønske om at det skulle testes to lengder av den nordre moloen. Bakgrunnen for dette er at den nordre moloen vil ligge på meget dypt vann, og man ønsker ikke å bygge den lengre enn nødvendig.

¹ Nummereringen av navn på alternativene er basert på de betegnelser som er gitt for ulike molo-løsninger i SINTEFs rapport (ref. 1).

Ved mer nøyaktig oppmåling har det imidlertid vist seg at det er lite margin for endring av lengden på den nordre moloen. Moloen kan føres fram til det punktet der Figur 2 viser et knekkpunkt, og moloen kan ikke være lengre dersom kravet til 120 m seilingsbredde skal oppfylles.

Det er derfor bare undersøkt ett nytt alternativ, som vist i Figur 3.

Under møtet i Kjøllefjord ble dette alternativet ansett som realistisk og akseptabelt fra Hurtigrutens side.



Figur 3 Alternativ P_S1, som er undersøkt i denne rapporten. Merk at den søndre moloen går ut fra den eksisterende ca 25 m fra enden av den eksisterende. Dette kartet er innmålt i koordinatsystemet Euref 35, som gir en nord-retning som er svært lik geografisk (sjøkartets) nord.

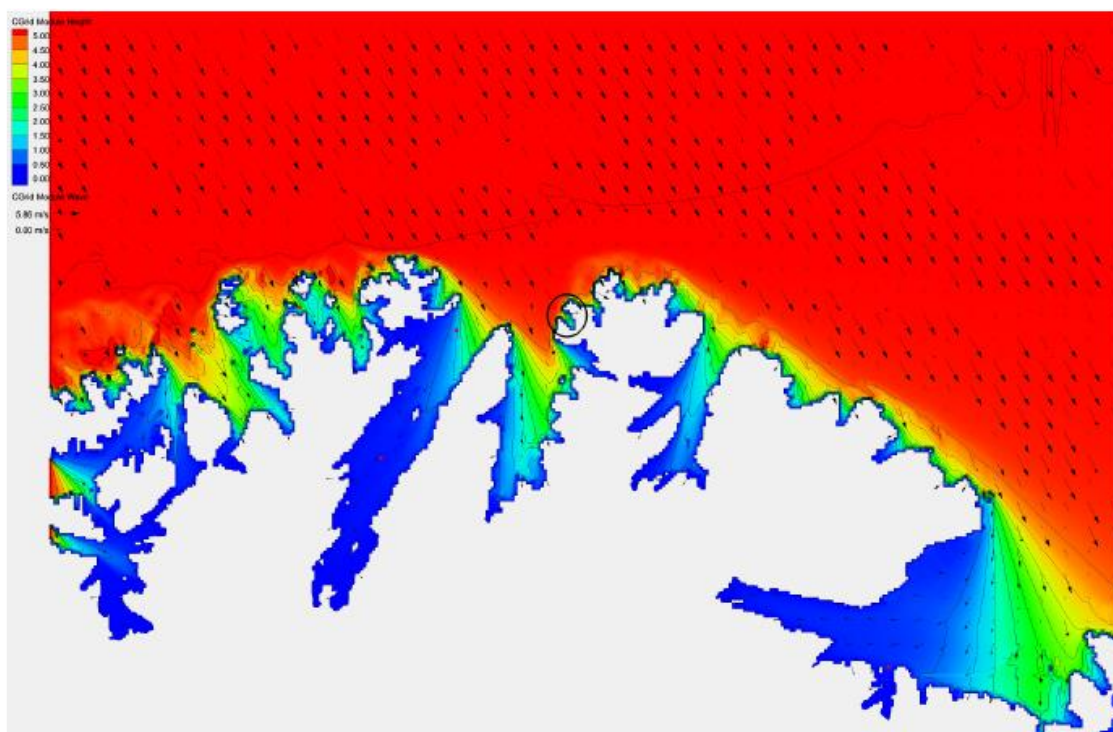
4 METODE

Metoden for analyser er tidligere beskrevet i referansene 2 og 4. Metoden går i korthet ut på at det benyttes en stor bølgemodell av hele nordre del av Finnmark for å bestemme hvilke bølger som kan komme inn fra åpent hav mot munningen av Porsangerfjorden og Laksefjorden. Denne modellen er forholdsvis grov i oppløsning ($800 \times 800 \text{ m}^2$), og inkluderer ikke mindre detaljer og tar ikke hensyn til refleksjon.

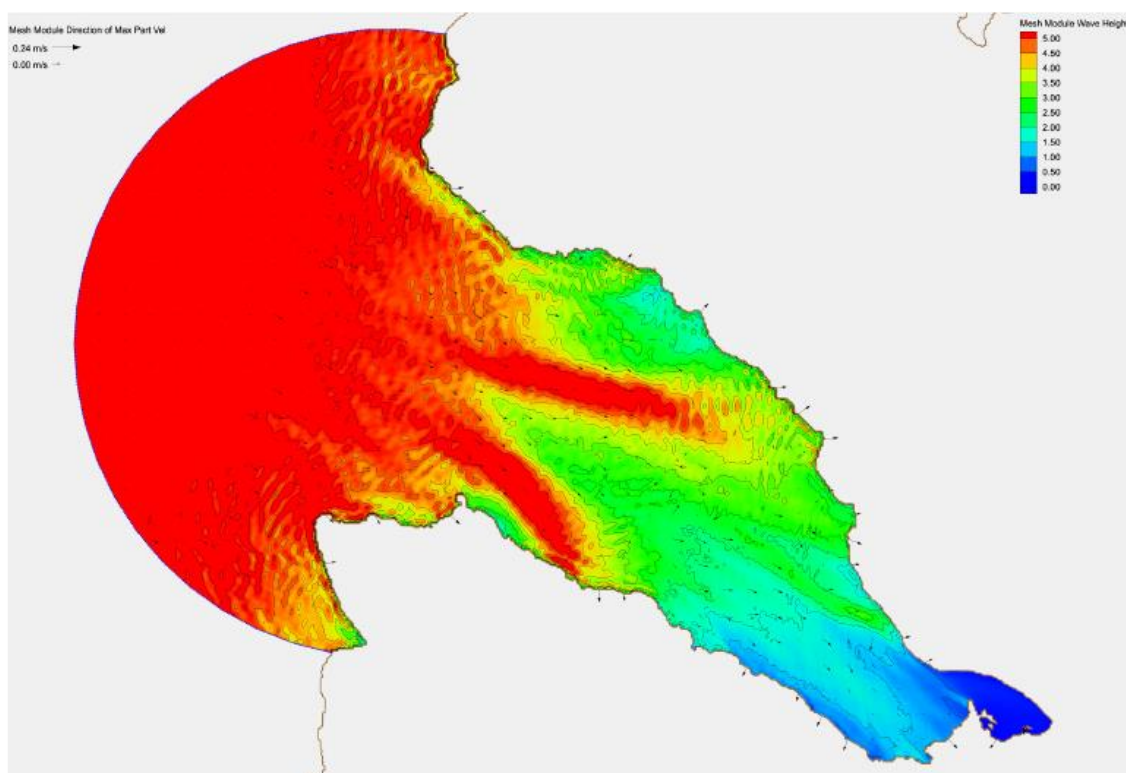
Ved et punkt ved munningen av Kjøllefjorden stoppes bølgemodelleringen, og en mer detaljert modell som inkluderer blant annet refleksjon og en mer avansert modellering av bunnens påvirkning overtar. Overgangen mellom modellene skjer ved at bølgespekteret fra den store modellen sendes videre inn i den lille modellen. På denne måten bevares både bølgehøyde og retning, og periode- og retningsfordeling i den lille modellen. Den lille modellen benyttes helt inn til havna i Kjøllefjord. I de grunneste delene av havna er oppløsningen i denne modellen ca 10 m.

Disse to modellene er vist i Figur 4 og Figur 5. Hvor god en spesiell løsning er kan man nå bestemme ved å lese av bølgehøyden i et gitt antall punkter i havna. Punktene som er benyttet er vist i Figur 6. Punkt F er Hurtigrutekaia, og Punkt G markerer stedet der det er planlagt en ny molo for en småbåthavn (se Figur 2). Det vil være relevant å vurdere behovet for denne moloen hvis de ytre moloene realiseres.

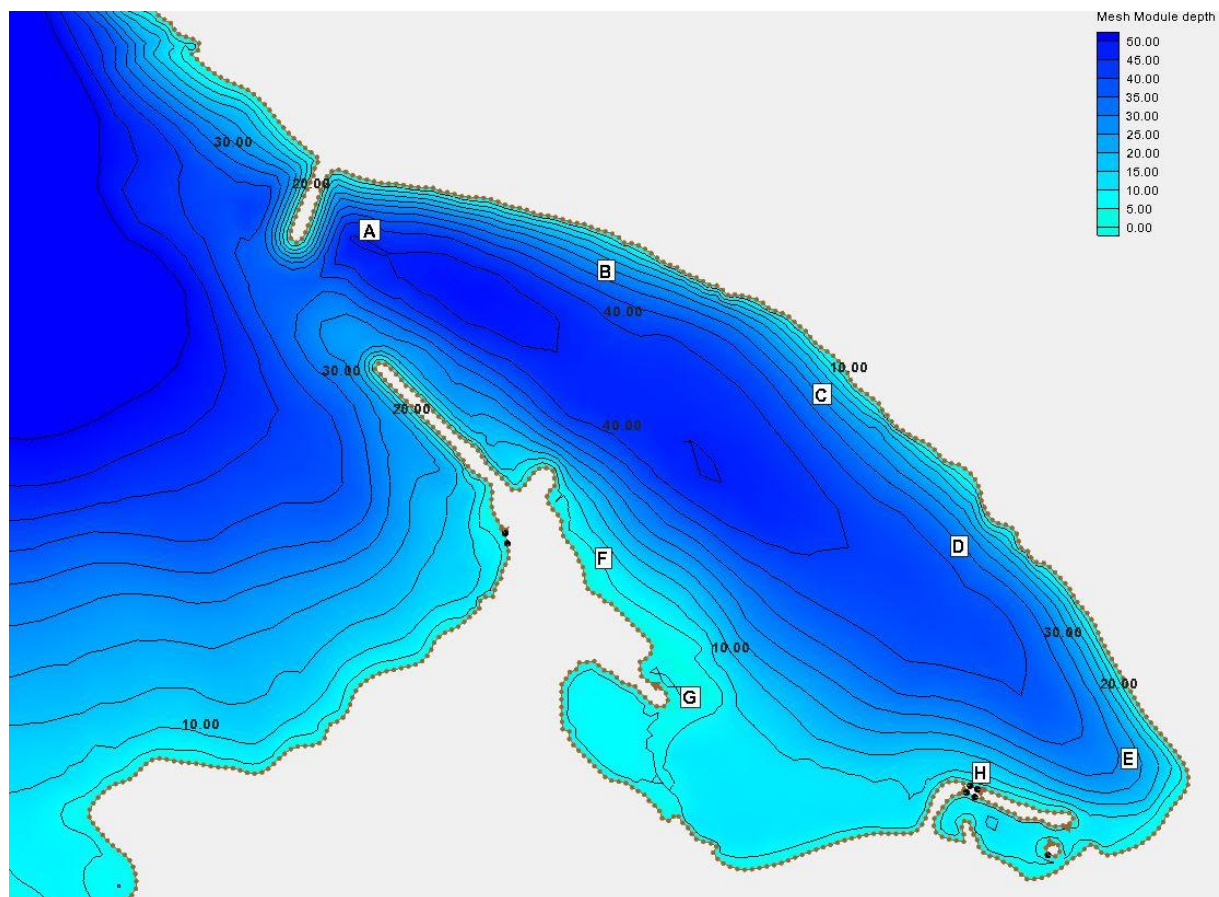
Det er tidligere vist at de høyeste bølgene fra åpent hav kommer inn mot havna når bølgeretningen i åpent hav er $300^\circ - 310^\circ$ og bølgeperioden er $T_p = 12.0 \text{ s}$ og 14.0 s . Analysen er derfor begrenset til disse 4 tilfellene.



Figur 4 Stor offshoremodell brukt til å bestemme bølger ved innløpet til Kjøllefjord. Kjøllefjord er markert med en svart ring. Bølgene i dette bildet kommer fra retning 330° .



Figur 5 Detaljert modell av Kjøllefjord vist ved eksisterende situasjon og bølger i åpent hav fra retning 300°. Merk at bølge-energien trekkes ut til siden av fjorden på grunn av de store grunne partiene ved innløpet til fjorden.

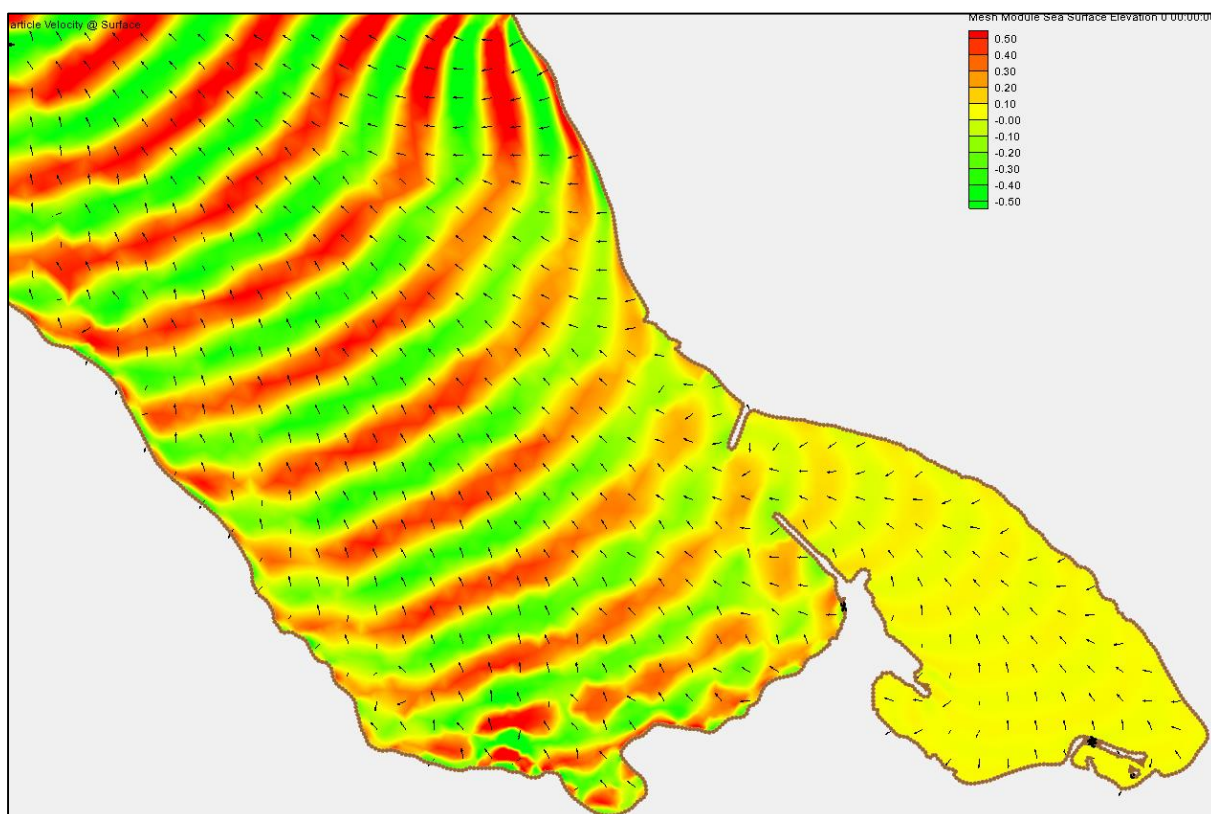


Figur 6 Markering av Punktene A – H der bølgedata er hentet ut. Punkt F er Hurtigrutekaia.

5 RESULTATER

5.1 Forbedringspotensial for havna

Et eksempel på resultat fra modelleringen er vist i Figur 7. Her *bølgeformen* vist i et øyeblikksbilde. Rød farge viser bølgetoppen, og grønn farge viser bølgedal. I det gule området er utslagene små og nær null. Man kan også se refleksjonen fra Breivika-området, som vises ved at bølgekammen er brutt fordi det her er en ny bølge som beveger seg på tvers av de innkommende bølgene fra havet (mot NØ).



Figur 7 Øyeblikksbilde av bølgene i en situasjon med $H_s = 3.0$ m, $T_p = 12.0$ s og retning 300° i åpent hav

For sammenligning mellom de ulike alternativene er det mest hensiktsmessig å se på en størrelse som kalles bølgehøydekoefisienten. Denne koefisienten er definert som

$$C = \frac{H_{s,X}}{H_{s,0}}$$

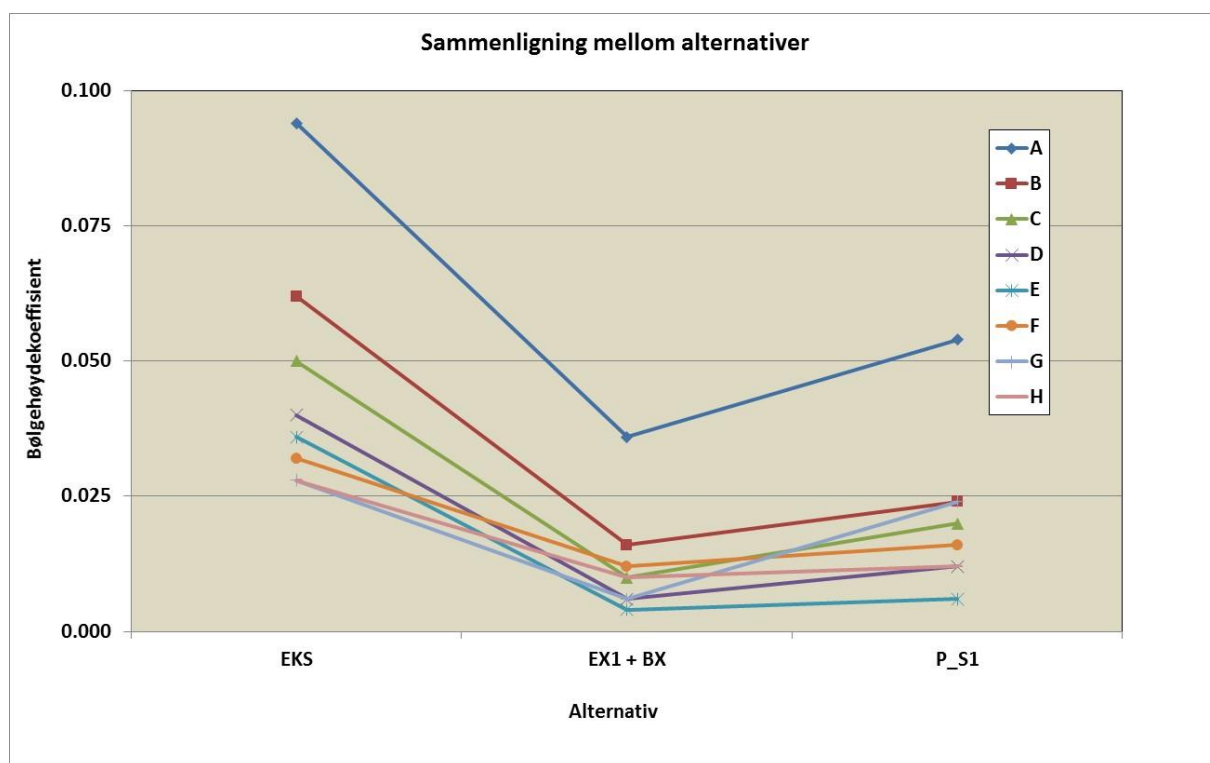
der

$H_{s,X}$ = signifikant bølgehøyde i punkt X

$H_{s,0}$ = signifikant bølgehøyde i åpent hav.

Bølgehøydekoefisienten vil derfor fortelle oss hvor godt ett alternativ er i forhold til et annet (f eks dagens situasjon) uten at vi trenger å ta stilling til om dette gjelder en storm eller under normale bruksforhold. Ved en sammenlignende vurdering ønsker man altså å oppnå en så lav verdi av bølgehøydekoefisienten som mulig.

Man kan regne med at denne koeffisienten bare er avhengig av bølgeperiode og bølgeretning, slik at den blir den samme enten bølgehøyden i åpent hav er f.eks. 5.0 m eller 8.0 m. Resultatet for undersøkelsen av Alternativ P_S1 er vist i Figur 8. Her er det gjort en sammenligning med Eksisterende og med Alternativ EX1+ BX. Alternativet EX1 + BX er valgt som sammenligningsgrunnlag fordi det er det eneste alternativet fram til nå som har vist en klar og tydelig forbedring av forholdene inne i havna. Vi vet også at EX1 + BX gir for dårlige forhold i innseilingen for Hurtigruta, og Figur 8 viser hvor mye det vil «koste» i form av økte bølgehøyder å åpne opp innseilingen. Generelt ser vi av figuren at Alternativ P_S1 gir noe høyere koeffisienter enn Alternativ EX1+BX, men P_S1 er fortsatt betydelig bedre enn Eksisterende.



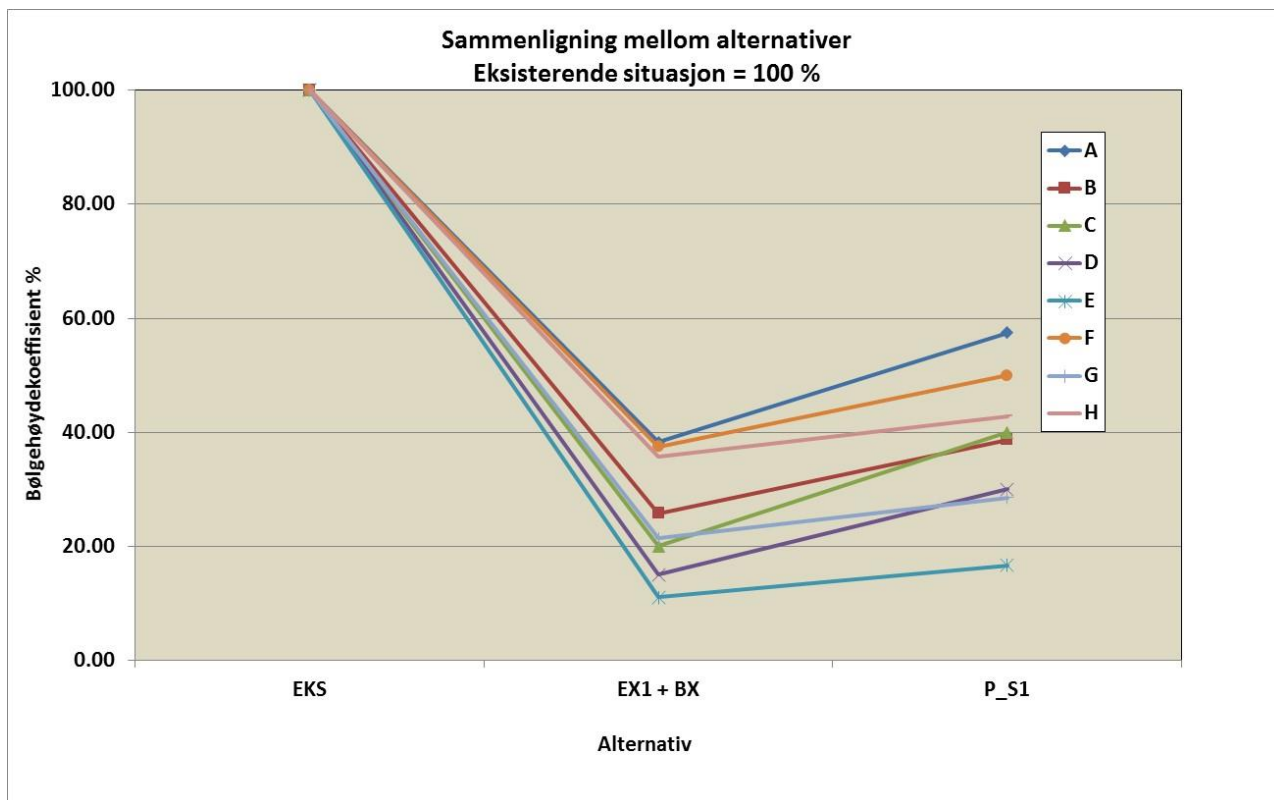
Figur 8 Sammenligning av oppnådd bølgehøydekoefisient for Eksisterende, Alternativ EX1 + BX og P_S1. Den viste bølgehøydekoefisienten er den maksimalt observerte for alle retninger og alle perioder.

Figur 8 viser at Alternativ P_S1 gir en tydelig forbedring av bølgeforholdene i alle punkter, og at bølgehøyden for dette alternativet bare er litt større enn for det forrige Alternativ EX1 + BX. Dette er omtalt punktvis (A – H) nedenfor

- Punkt A: Dette punktet lå tidligere ubeskyttet og var meget eksponert. I Alternativ EX1 + BX ligger punktet inne i en bukt bak en molo med en knekk (se Figur 2), noe som naturlig nok gir stor grad av beskyttelse. I Alternativ P_S1 er den nordre moloen kortere, og punktet ligger derfor noe mer eksponert, men fortsatt betydelig bedre beskyttet enn i Eksisterende.
- Punkt B - H: Disse punktene viser en nokså lik tendens, dvs at bølgehøydekoefisienten er betydelig lavere enn Eksisterende, men noe høyere enn Alternativ EX1 + BX.

For å klargjøre endringene ytterligere, kan vi sette Eksisterende bølgeforshold = 100 %, og så se på hvilke endringer som oppnåes. I dette tilfellet ser vi på hvor stor prosentvis andel den nye bølgehøydekoefisienten utgjør i forhold den eksisterende. Ved en andel på 40 % er altså bølgehøyden i det gjeldende punktet redusert til 0.4 x det bølgehøyden var tidligere. Dette er vist i Figur 9. Her ser vi at:

- Alternativ EX1 + BX ville gitt en reduksjon av bølgehøyden i nåværende situasjon til mellom 10 – 40 %, men også en innseiling som ikke er akseptabel for Hurtigruta;
- Alternativ P_S1 vil gi en tilsvarende reduksjon til mellom 17 – 60 %, og en innseiling som er antatt akseptabel.

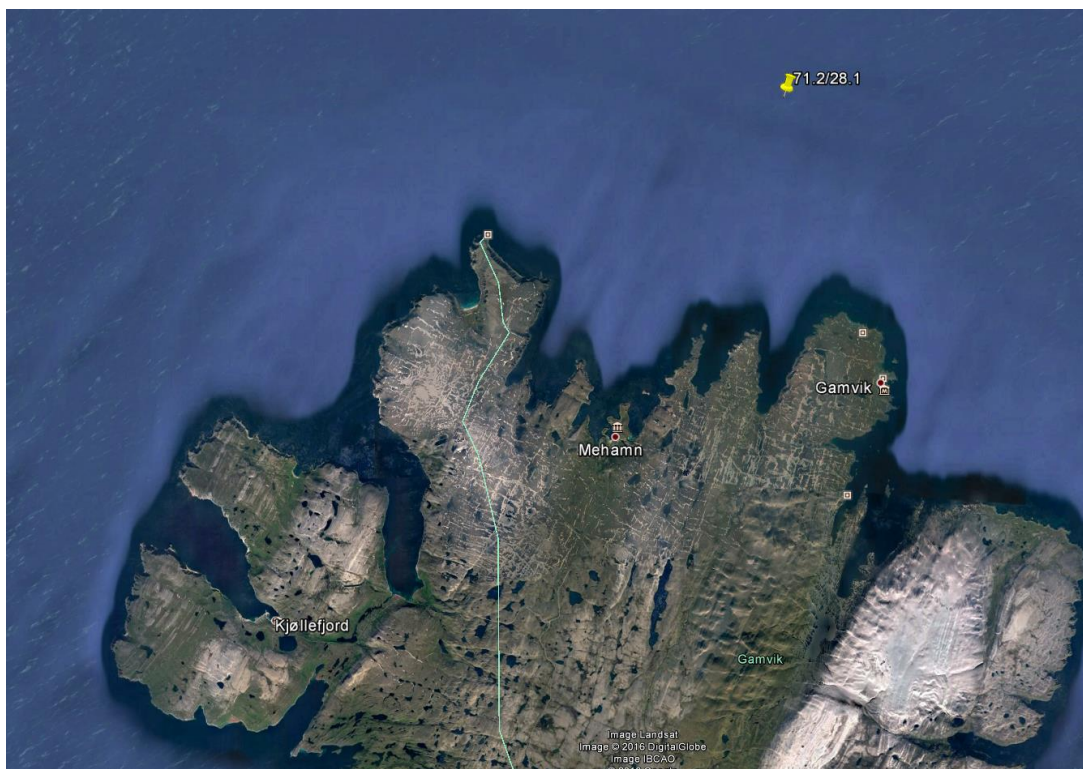


Figur 9 Sammenligning av prosentvis oppnådd bølgehøydekoefisient for Eksisterende, Alternativ EX1 + BX og P_S1. Bølgehøydekoefisient for Eksisterende situasjon = 100 %

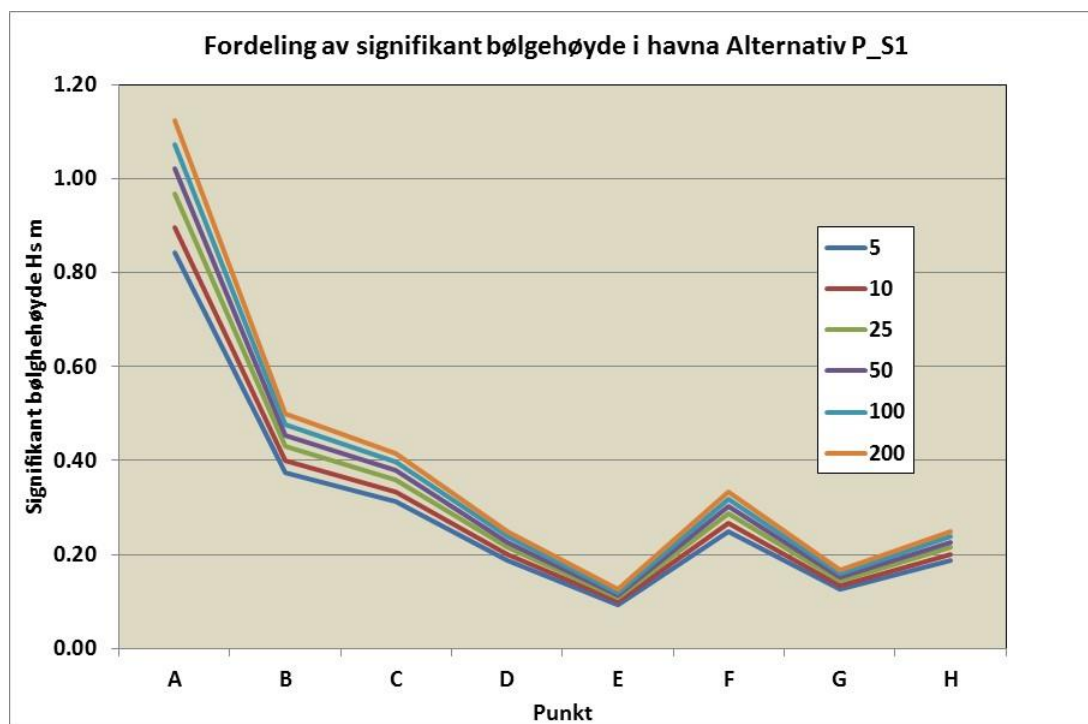
5.2 Bølgehøyder i havna

Vi kan nå lage estimater på bølgehøyder inne i havna ved å benytte koeffisientene fra beregningene (Figur 8) sammen med statistikk for et beregningspunkt for bølger ute i havet. Vi benytter beregningspunktet 833 i posisjon N 71.2° / E 28.1° fra perioden 1955 – 2006, se Figur 10 . Dette er en eldre serie med observasjoner for hver 6. time, og vi innfører derfor en faktor på 1.15 for å ta hensyn til at bølgene kan være høyere i perioden mellom observasjonstidspunktene.

Data fra Punkt 833 er modellert ved hjelp av en 3-parameter Weibull-fordeling, og ekstremverdier for hvert punkt inne i havna (med Alternativ P_S1) kan beregnes. Signifikante bølgehøyder for havna er vist i Figur 11. Denne figuren viser at Punkt A fortsatt er svært utsatt for bølger, mens de øvrige punktene i havna vil tilfredsstillende de normale krav som settes til havnevirksomhet (maksimal 1-års signifikant bølgehøyde skal være ca 0.5 m for godskaier og ca 0.3 – 0.4 m for s marinaer og havner for mindre fiskefartøy).



Figur 10 Posisjon for beregnede bølgedata i åpent hav

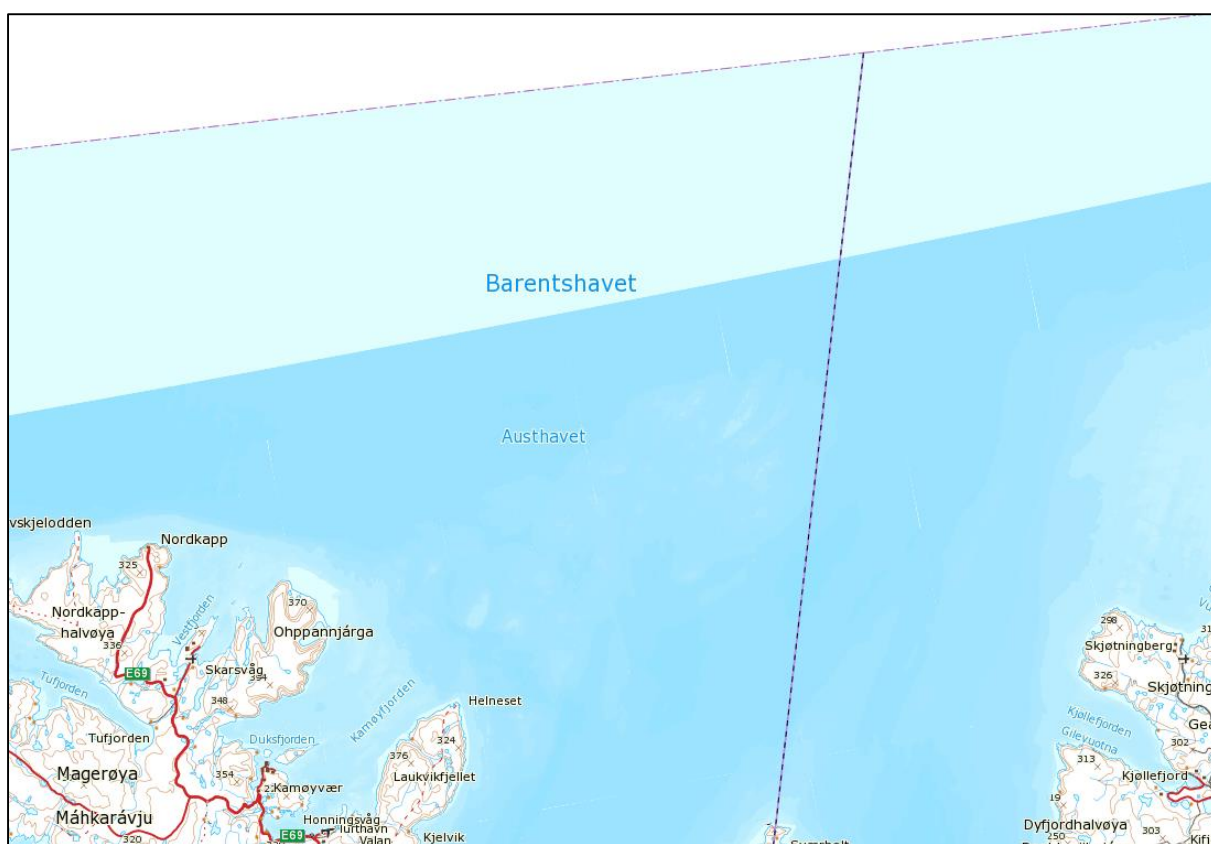


Figur 11 Ekstremverdier av bølgehøyder i Punkt A – H ved returperioder 5, 10, 25, .. år

5.3 Generell skjerming av havna

Kjøllefjord Havn oppfattes i dag som en forholdsvis godt skjermet havn, selv om havna ligger åpent eksponert for bølger fra NV retning, se Figur 1 og Figur 12. Årsaken til at Kjøllefjord likevel oppfattes som godt skjermet er de spesielle dybdeforholdene på begge sider av munningen til Kjøllefjorden, ved Kjøllefjordneset og ved Finnkjerka, se Figur 1. Grunnene her fører til at bølgene styres inn på begge sider av fjorden slik at de ikke når fram til havna (Figur 5), selv om det fra havnas indre del er fritt utsyn mot havet, se Figur 13.

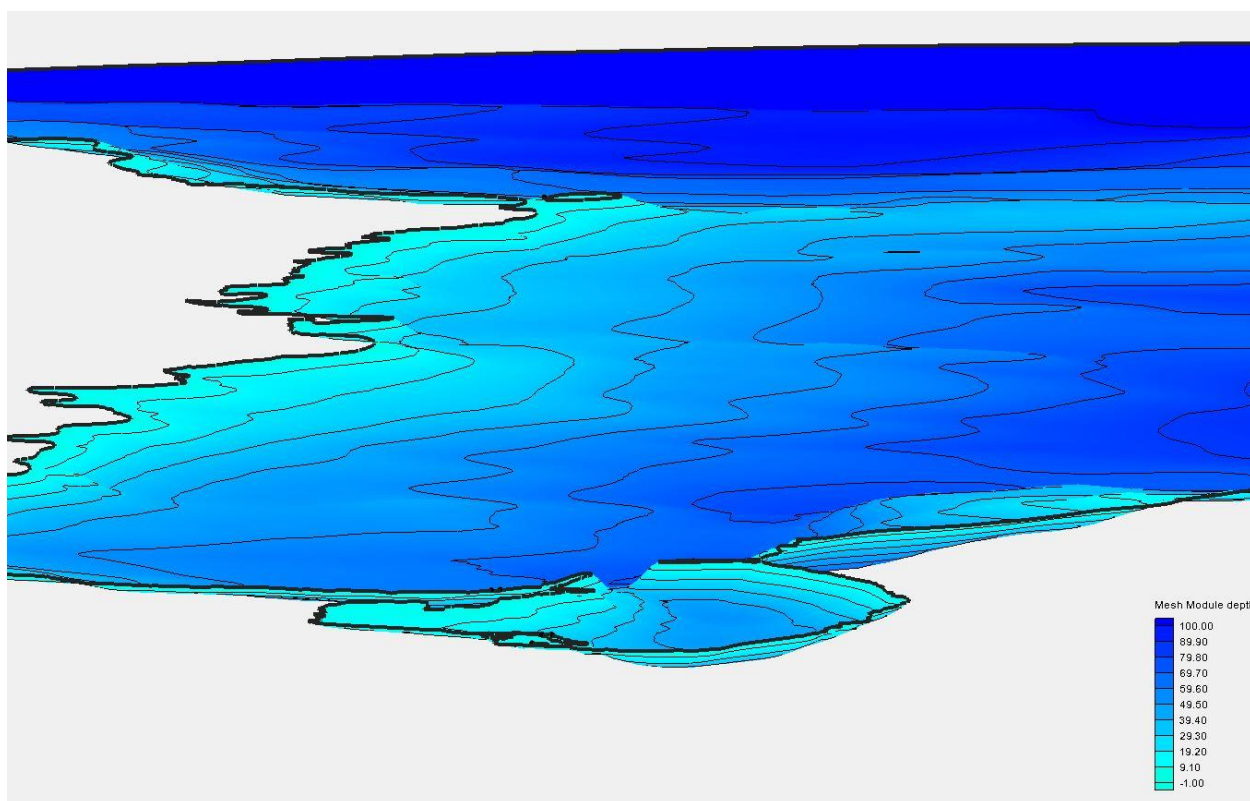
Dersom Alternativ S_P1 realiseres, vil en del av det frie utsyn mot havet bli stengt av den nordre moloen. Figur 14 viser et perspektiv-plott av dybde-data og illustrerer effekten i havnivå-planet. Figur 15 viser det samme perspektivet, men denne gang med et innkommende bølgetog med periode $T_p = 14.0$ s med retning fra 300° i åpent hav. Se figurteksten for kommentarer.



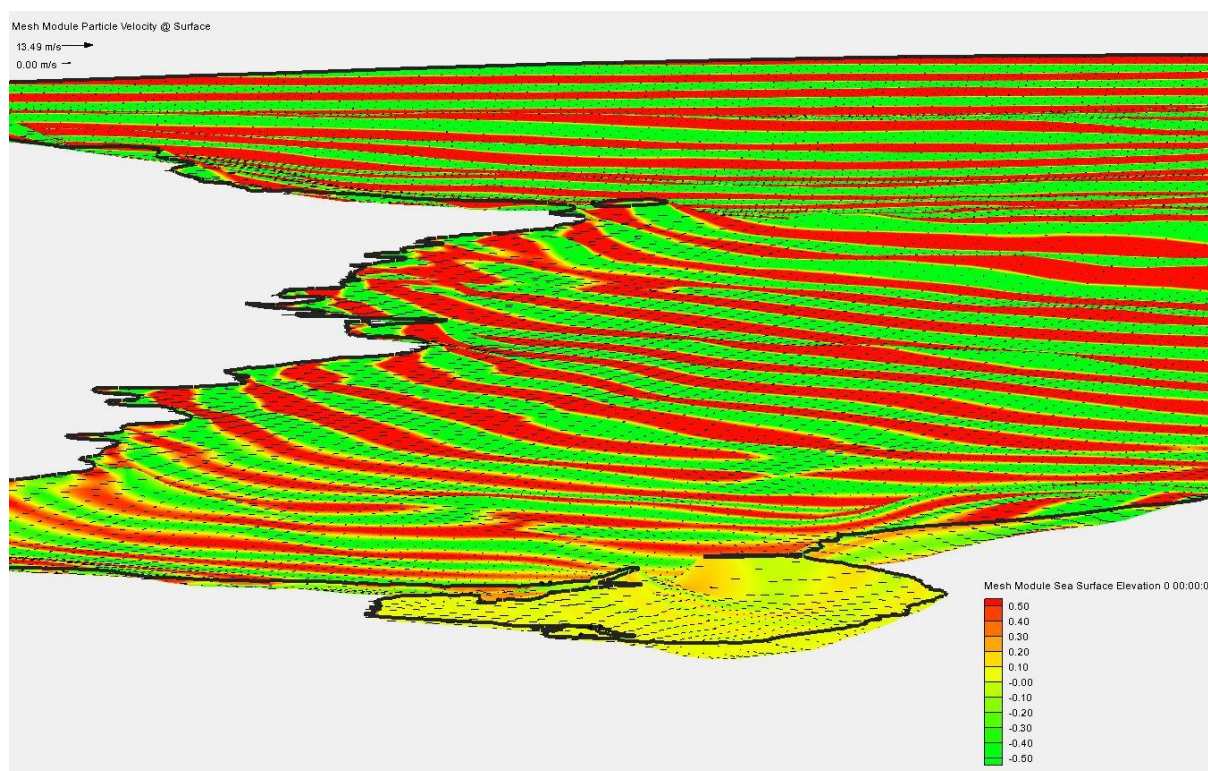
Figur 12 Kart som viser at Kjøllefjorden ligger åpen for bølger fra retning ca 300°



Figur 13 Utsyn fra indre del av Kjøllefjord. Merk at det er fritt utsyn til åpent hav i retning ca 300°



Figur 14 Perspektivplott av dybdekurver Kjøllefjorden med Alternativ S_P1. Vannlinjen er markert med svart strek, og terreng over vannlinjen er ikke vist. Figuren viser at den nordre moloen vil skjerme for bølger direkte inn fra havet.



Figur 15

Perspektivplott av innkommende bølgetog i Kjøllefjorden med Alternativ S_P1. Vannlinjen er markert med svart strek, og terreng over vannlinjen er ikke vist. Figuren viser hvordan bølgene sperres av moloene, og man kan se en effekt av refleksjonen fra Breivika-området.

6 LANGPERIODISKE BØLGER OG HAVNESVINGNINGER

Langperiodiske svingninger betegnes som «seiching» på engelsk, og kalles noen steder også drag. Det er et fenomen der et delvis lukket havnebasseng kan komme resonans slik at energien i bølgen bygger seg opp inne i havna. Konsekvensen kan være at vannspeilet beveger seg opp og ned med store amplituder, spesielt innerst inne i havna. I noen tilfeller er det observert vannstandsvariasjoner på flere meter. Typiske perioder for slike bevegelser er fra ca et minutt opp til 10 minutter.

Ved en uheldig utforming av et moloprosjekt er det mulig å skape drag i en havn som ikke har det fra før. Drag utgjør et problem der det oppstår fordi den vertikale bevegelsen i indre deler av havna fører til at det er vanskelig å utføre laste og losse-operasjoner, og til at det vanskelig å opprettholde så stramme fortøyninger som er ønskelig.

I andre deler av havna kan problemet være den pendlende bevegelsen av vann som strømmer inn og ut av havna, og som fører til rykking i fortøyninger.

For å undersøke dette fenomenet benyttes en numerisk modell lik den som er vist i Figur 5. I modellen sendes det inn et bølgetog bestående av identiske bølger med en gitt periode. Bølgene som benyttes er så lange at retningen på bølgene spiller lite rolle så lenge de er i riktig sektor (dvs fra åpent hav), Typiske bølgehøyder i åpent hav er noen få cm, og vi har benyttet en bølgehøyde på 2 cm for å gi enkle forholdstall.

Denne prosessen gjentas så for stigende bølgeperiode fra 50 s opp til ca 6 minutter, og så undersøker man om det finnes antydninger til resonans eller store utslag på noen av periodene. Resonans vil sees som store vertikale utslag i indre deler av havna og kraftig strøm i innseilingen. For å kvantifisere tendenser til langperiodiske svingninger defineres en forsterkningsfaktor, som er forholdet mellom bølgehøyden inne i havna og bølgehøyden utenfor. Fordi den tenkte bølgen utenfor havna er så liten (størrelse mindre enn 10 cm), vil man kunne tåle en del forsterkning av denne bølgen før det blir et merkbart problem. Det erfaringsmessige toleransenivået for forsterkning er vist i Tabell 1.

For å kvantifisere langperiodiske bølger i den nye havna i Kjøllefjord har vi utført en studie av bølger med periode 50 – 350 s for det nye alternativet P-S1. Inngående bølgehøyde er 0.02 m. Undersøkelsen er utført med den samme modellen som tidligere brukt, og det er nå valgt ut 4 punkter inne i havna der man eventuelle langperiodiske bølger kan merkes og forventes å være høyest. Punktene er vist i Figur 16.

Et eksempel på slik modellering er vist i Figur 17 og Figur 18.

Figur 17 viser fordelingen av bølgehøyde inne i Kjøllefjord ved periode $T = 160$ s (2 min 40 s). Denne perioden er den som gir tydeligst resonans i havna. Bølgehøyden i dette bildet er den høyeste bølgehøyden som opptrer i løpet av en bølgeperiode. Vi ser at det er registrert stor bølgehøyde i bunnen av fjorden fra Breivika til moloen (markert med rødt). Bølgehøyden her er fra ca 14 cm innerst i Breivika til ca 5 cm ved moloen (utsiden), dvs en forsterkningsfaktor på mellom 7 og 2.5, som er moderat i følge Tabell 1. Inne i havna ser vi en tendens til forsterkning (som forventet) bak Hurtigrutekaia (Punkt 4) og bak moloen i småbåthavna (Punkt 3). Men i begge disse punktene er forsterkningen liten, i størrelsesorden 2.0 – 2.5.

Vi får et annet bilde av bølgene ved å se på Figur 18, som viser et øyeblikksbilde av sjøoverflaten i havna i et utvalgt øyeblikk i løpet av en periode. I dette bildet er bølgetopp markert med rødt og bølgedal markert med blått. Ikke uventet ser vi at bølgen som kommer inn fra nordvest reflekteres fra Breivika-området og går ut igjen. Men det er også noe energi fra denne reflekterte bølgen som svinger rundt den nye moloen og blander seg med den innkommende bølgen som er på veg inn i havna. Det synes derfor som om man ved denne spesielle perioden har en kombinasjon av en innkommende

bølge fra havet og en reflektert bølge fra Breivika-området som sammen gir en antydning til langperiodiske bølger inne i havna.

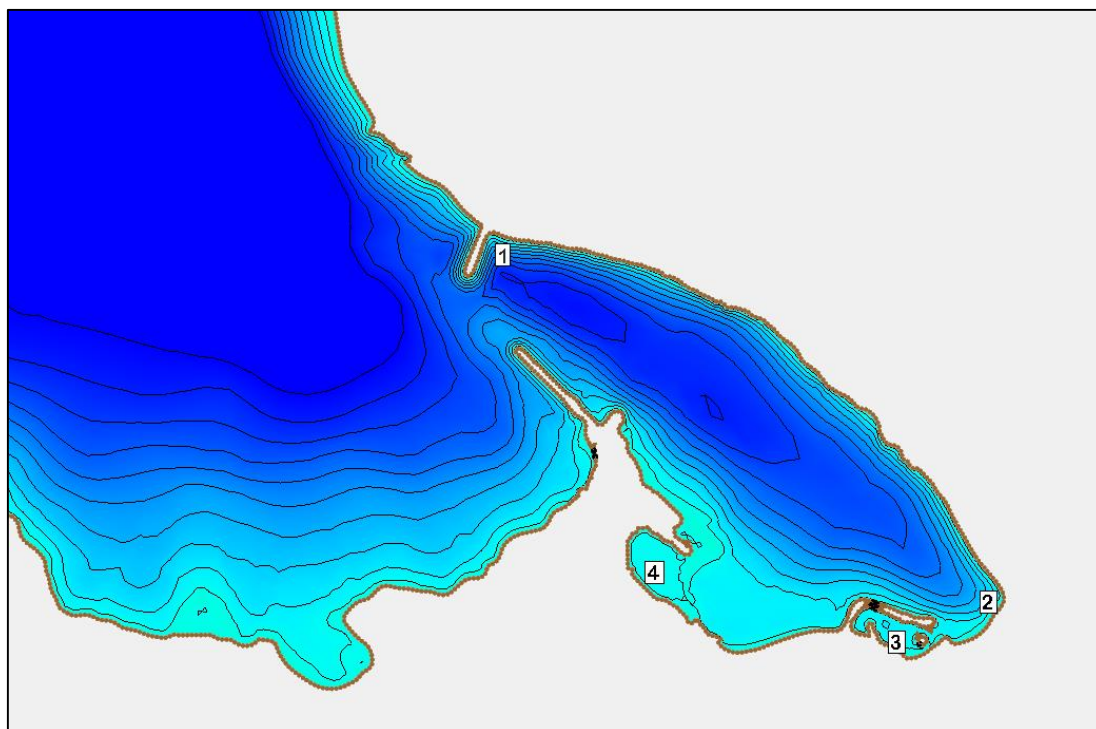
Resultatet for alle perioder og alle punkter er vist i Figur 19. Figuren viser at innenfor det undersøkte området av perioder er forsterkningsfaktoren under 5.0, noe som er akseptabelt i hht Tabell 1. Vi ser også at det er en antydning til en topp rundt 160 s (som vist i Figur 17 og Figur 18), og at forsterkningen øker noe før de høyeste periodene.

En skal her huske på at en forsterkningsfaktor på 2.0 er det man vil forvente ved en ren refleksjon fra land og tilbake i havet. Eventuell resonans ved perioder over ca 240 – 300 s (4 – 5 min) er heller ikke ansett som et problem, av den grunn at det vil kreve så store mengder energi å drive slike bølger ute i havet at bølgehøydene blir betydelig mindre enn de 2 cm som er forutsatt her.

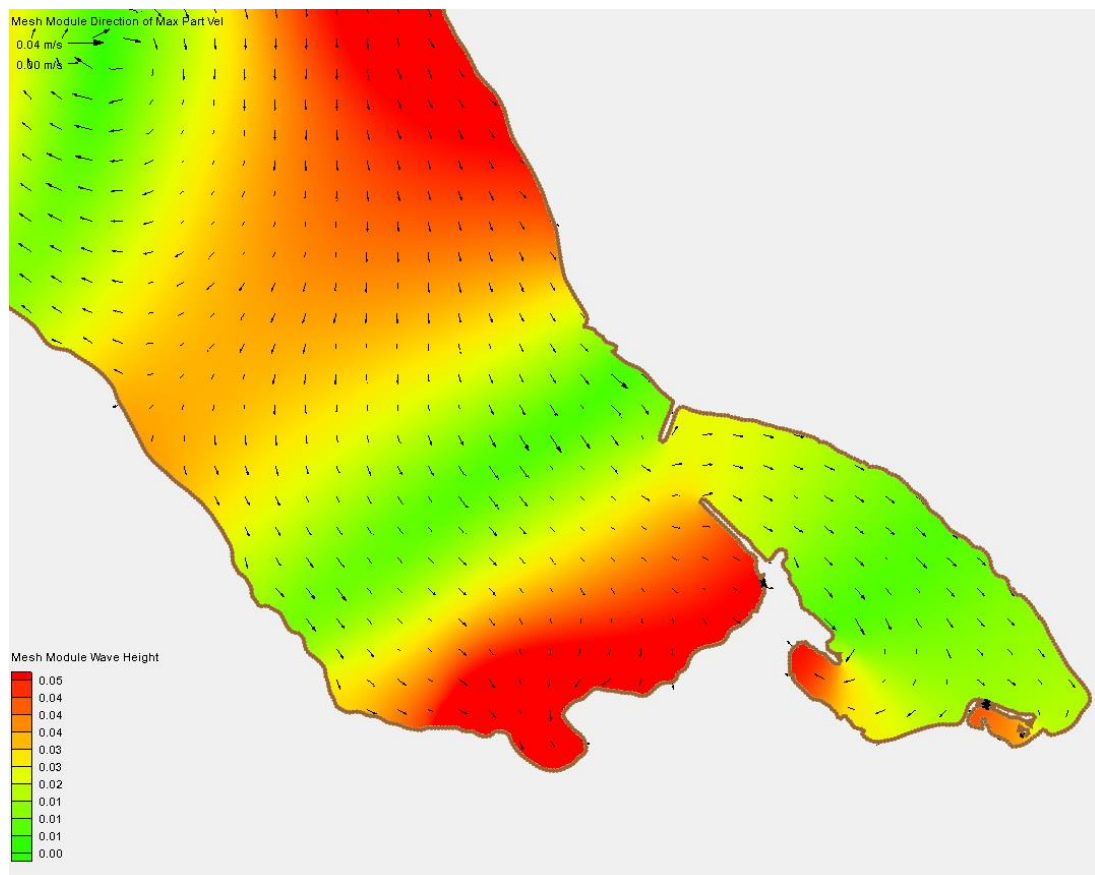
Vi konstaterer derfor at det ikke er noen grunn til å tro at det skal oppstå langperiodiske bølger i havna som vil skape problemer for normal havneaktivitet i noen del av havna.

Tabell 1 Erfaringstall for tillatt forsterkningsfaktor

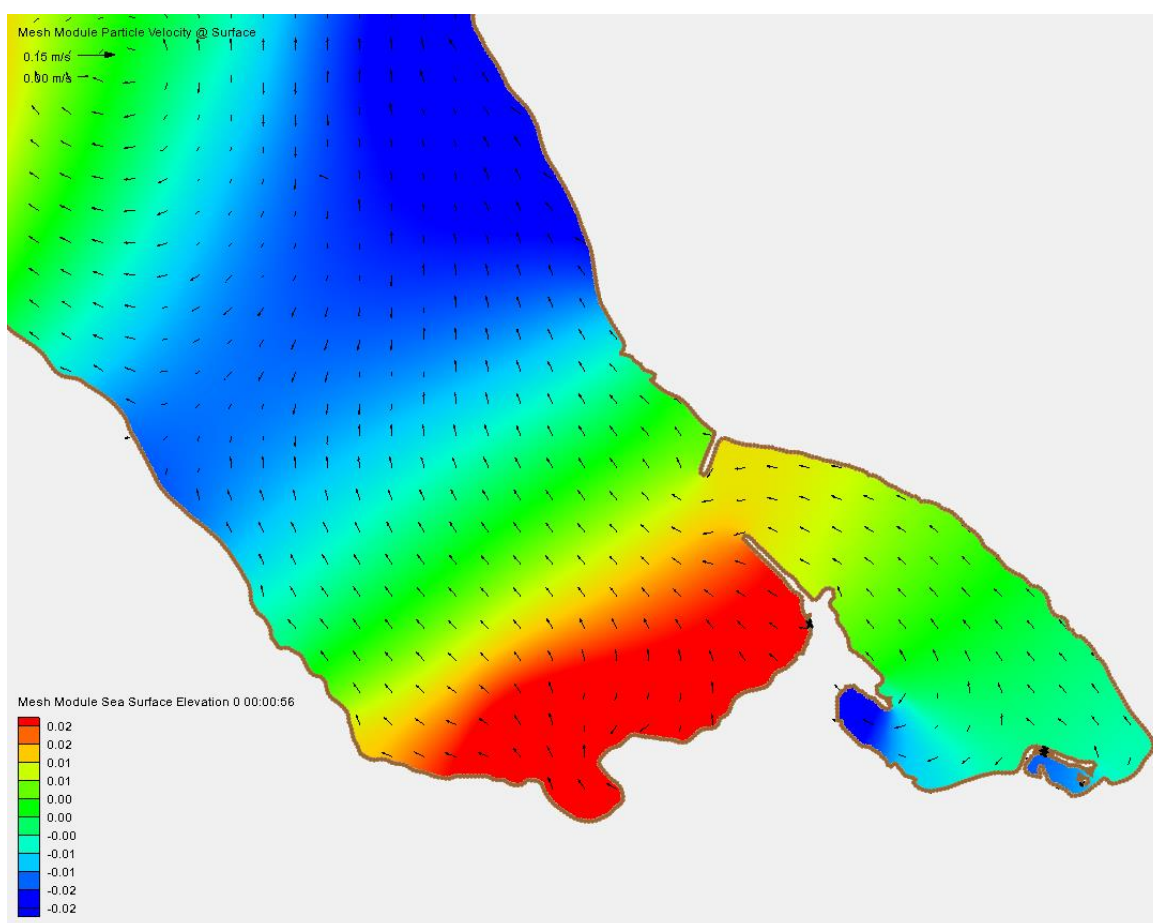
Forsterkningsfaktor	Effekter i havna	Problemnivå
1 - 5	Små effekter, oftest ikke merkbare	Ingen problemer
5 – 10	Noen merkbare effekter, vanskelig å utføre sensitive operasjoner, det stilles ekstra krav til fortøyninger	En del problemer som sinker arbeidet med lasting/lossing; ekstra fortøyninger påkrevet
over 10	Gradvis økende problemer, vanskelig å utføre lasting og lossing, rykking i fortøyninger. I ekstreme tilfeller kan dybden bli for liten til skipene.	Kan føre til at kai-operasjoner må avbrytes og at båter/skip må finne alternative kaier for fortøyning



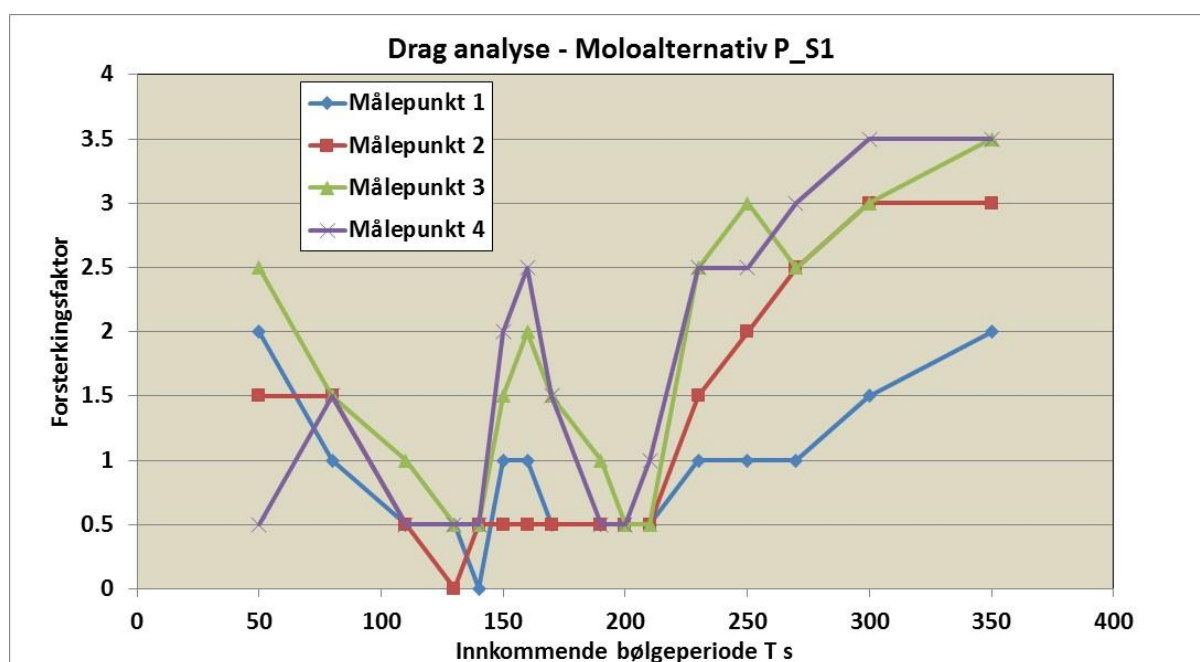
Figur 16 Posisjoner 1 – 4 for måling av langperiodiske bølger



Figur 17 Fordeling av langperiodisk bølgehøyde i Kjøllefjord, Alternativ P-S1, $T = 160$ s. Skala er 0 – 5 cm.



Figur 18 Øyeblikksbilde av overflatehevingen ved $T = 160$ s. Skala er -2 - +2 cm.

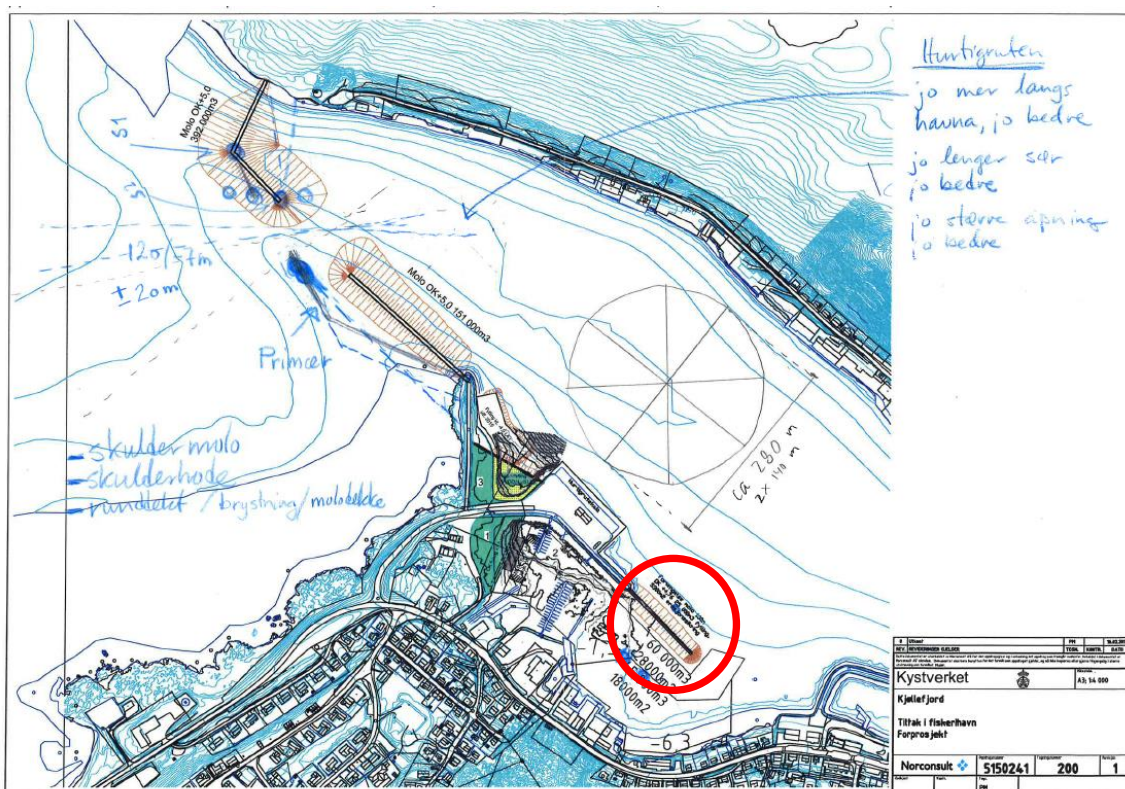


Figur 19 Forsterkningsfaktorer for Alternativ P-S1. Periode 50 – 350 s og Punkt 1 – 4.

7 LOKALE VINDBØLGER INNE I HAVNA

Analysen i de foregående kapitler har vist at molo-alternativet P-S1 vil skape gode forhold i hele havna (med unntak av området nærmest molo Nord), og stenge ute nesten all havsjø og dønning (ref. Figur 8). I Kystverkets opprinnelige planer inngår en Molo Q, som går fra dagens Hurtigrutekai og i retning mot sørøst (se Figur 20). Man må anta at denne moloen er planlagt for å skjerme mot havbølger og dønning, og at den derfor kan bli unødvendig dersom moloalternativ P-S1 realiseres. Dette vil stoppe nesten all dønning som tidligere kom inn i havna.

For å undersøke dette har vi beregnet hvilke bølger som kan oppstå som følge av lokal vind inne i havnebassenget.



Figur 20 Skisse til nye alternativer utarbeidet under møtet i Kjøllefjord 2106-09-05. Molo O er markert.

Havnebassenget i Kjøllefjord (etter en eventuell molobygging) er lite, og lengste strekning inn mot havna som ligger ved molo Q er i størrelsesorden litt under 1 km. Denne avstanden er imidlertid nok til å gi bølger som kan være høyere enn akseptabelt i en småbåthavn.

Det er ingen værstasjoner i nærheten som gir et godt bilde av vindforholdene i Kjøllefjord havn. De nærmeste aktive stasjonene er Mehamn Lufthavn, Slettnes Fyr og Honningsvåg Lufthavn. Eksponeringen ved disse er imidlertid svært ulik Kjøllefjord, og vi har derfor valgt Hellneset Fyr, som ligger på Magerøya og var i drift fram til 2011. Valg av denne stasjonen er likevel helt sikkert konservativt, og vil gi vindbølger som er høyere enn det som kan forventes i Kjøllefjord.

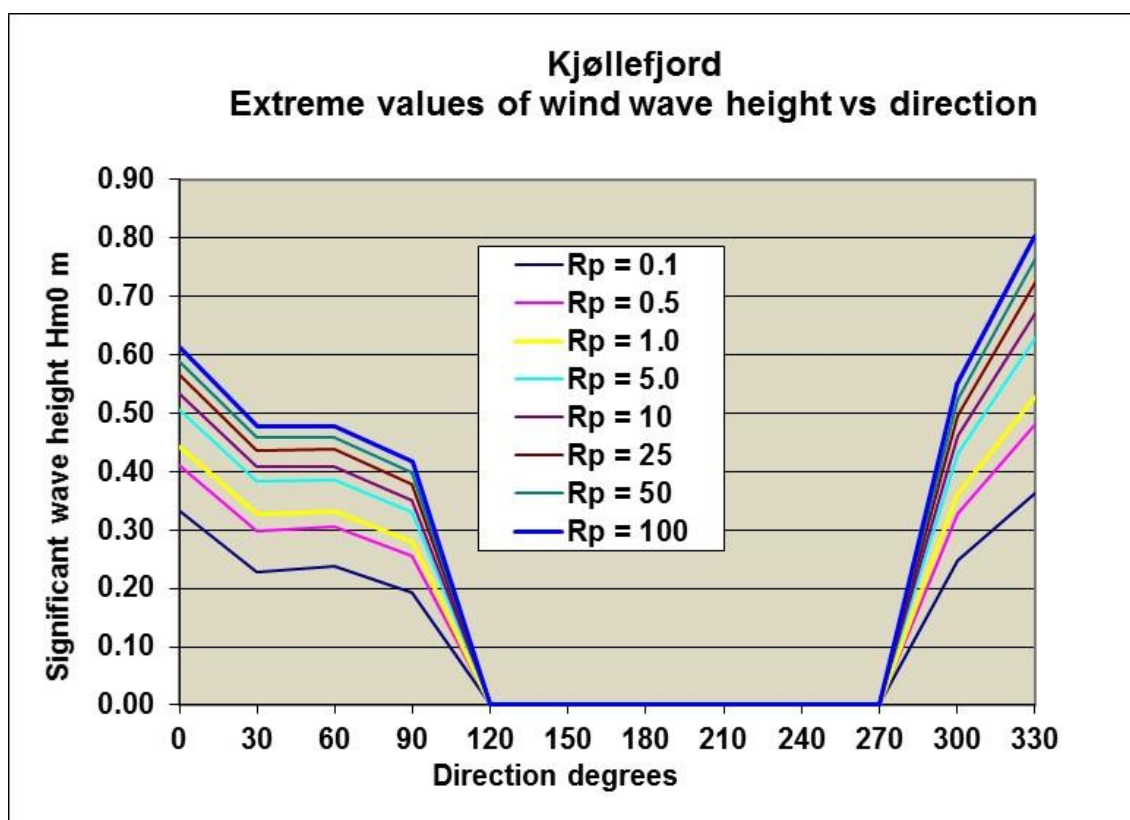
Vi benytter derfor ujusterte vind-data fra Hellneset og lager en 3-parameter Weibull-fordeling for observasjonene, og beregner så bølgehøyden som kan oppstå som følge av denne vinden. Resultatet av beregningen er vist i Figur 21 og Figur 22. Den første av disse figurene viser at de høyeste bølgene vil komme fra retning nord-nordvest (330°), som er som forventet fordi dette er det lengste strøket og retningen med høyest vindhastighet. Vinden fra denne sektoren er antatt å komme opp i 10 minutters

middel på 38.5 m/s på 100 års nivå. Selv om vi sikkert kan anta at vinden i Kjøllefjord er svakere enn ved Hellneset, så er det også mulig at det kan forekomme kraftige kasevinder eller fallvinder fra de høye fjellene rundt Kjøllefjord. Disse vindene har normalt liten varighet, men i vårt tilfelle er strøket så kort at det ikke er påkrevet med høyere varighet enn 10 – 12 minutter.

Vi velger derfor å basere oss på udempet vind fra Hellneset, og noterer at dette er et nøkternt konservativt valg, og ikke et grovt overestimat.

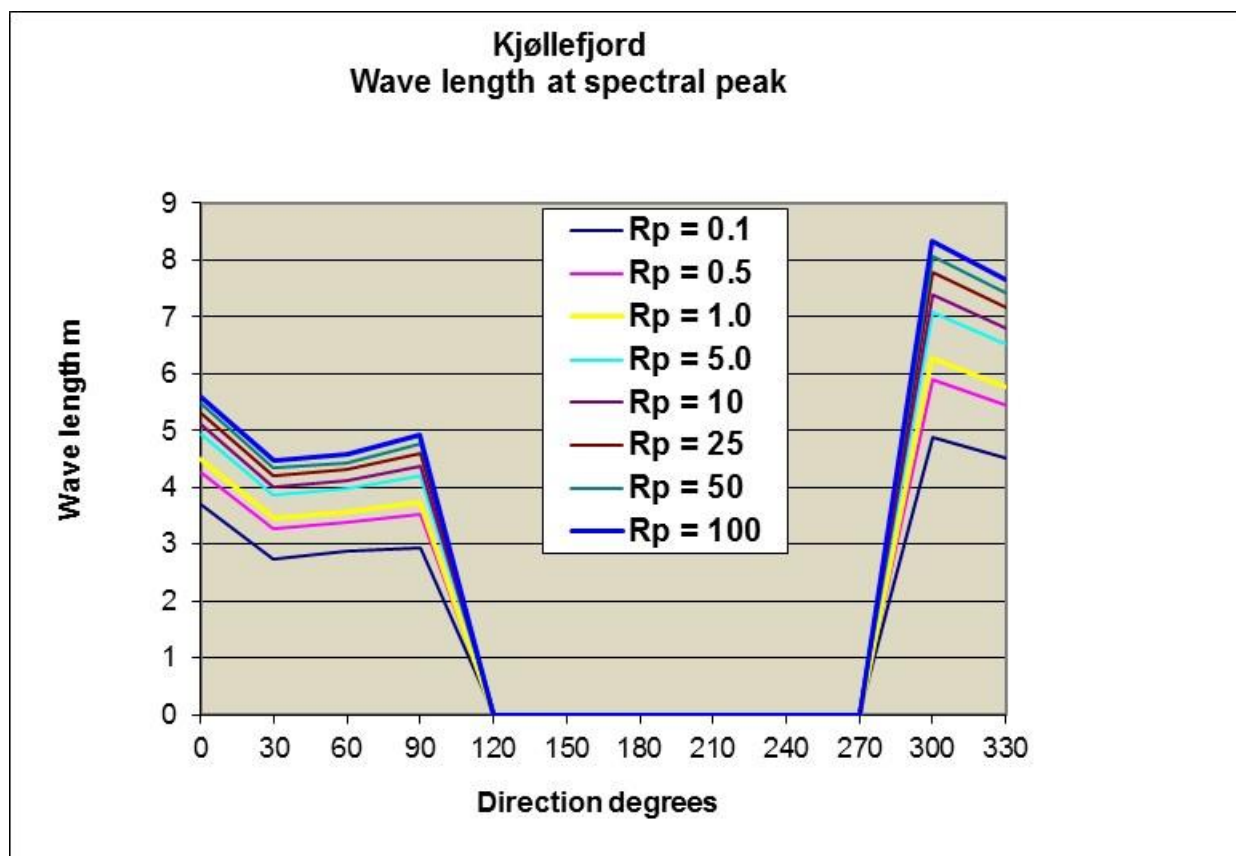
Figur 22 viser fordelingen av bølgelengder for tilsvarende situasjoner. Fra disse to figurene kan man avlede følgende konklusjoner.

1. Den interne, vindgenererte bølgehøyden inne i havnebassenget i Kjøllefjord er høyere enn det som normalt anbefales som grense for småbåtanlegg og marinaer. I slike anlegg anbefales ofte $H_{smax} = 0.3 - 0.4$ m på 1-års nivå, mens vår 1-års verdi er $H_s = 0.53$ m.
2. Tilfredsstillende forhold i havna kan oppnås ved å benytte en tung flytebrygge/ flytende bølgedemper. Slike anlegg kan fungere der følgende krav er oppfylt:
 - ☐ dimensjonerende bølgehøyde $H_{s,100} < 1.0$ m; og
 - ☐ flytebryggets bredde B må være større enn ca $0.6 \times$ bølgelengden L i bruks-situasjonen (antatt en gang/år): $B/L > \approx 0.6$
3. I vårt tilfelle er $H_{s100} = 0.8$ m < 1.0 m, og $B/L_{1 \text{ år}} = 4 / 6.3 = 0.63$, og kravene til en funksjonell bølgedemper er derfor oppfylt for en brygge med bredde $B = 4.0$ m.



Figur 21

Fordeling av lokal, signifikant bølgehøyde i Kjøllefjord ved Molo Q, basert på udempet vind fra Hellneset Fyr. R_p er returperiode i år.



Figur 22

Fordeling av lokalgenerert bølgelengde i Kjøllefjord ved Molo Q, basert på udeppet vind fra Hellneset Fyr.

8 KONKLUSJONER OG ANBEFALINGER

8.1 Konklusjoner

1. Det er funnet en løsning for Kjøllefjord Havn som gir betydelig forbedrede forhold inne i havna samtidig som en god innseiling for Hurtigruta er sikret.
2. Mololøsningen som er skissert i Alternativ P_S1 ble forelagt en representant for Hurtigruten i et møte i Kjøllefjord 2016-09-05, og det er enighet om at alternativet kan være realistisk og bør arbeides videre med.
3. Dersom Alternativ S_P1 realiseres, vil hele havna med unntak av de nærmeste ca 400 m ved Klubben kunne benyttes til havneformål.
4. Potensialet for at det skal oppstå langperiodiske bølger i havna som enten ikke var til stede tidligere eller som kan skape problemer for havnedriften ved realisering av Alternativ P_S1 er vurdert og ansett som lite eller neglisjerbart.
5. Dersom Alternativ P_S1 realiseres, vil det ikke være behov for å ha en molo i retning mot SØ fra Hurtigrutekaia (Molo Q) for å stenge ute havbølger og dønning. Behovet for demping av lokale bølger kan tilfredsstilles ved å benytte en flytende bølgedemper/flytebrygge med bredde ca 4.0 m.

8.2 Anbefalinger

- A. Vi anbefaler å arbeide videre med Alternativ P_S1. Det har vært testet et stort antall kombinasjoner i både numerisk modell og i laboratoriet ved SINTEF, men dette er det eneste alternativet som gir både en signifikant reduksjon av bølgehøyder og en akseptabel innseiling. Merk imidlertid at det i løpet av prosjektet har vært arbeidet med to ulike kartprosjeksjoner
- B. Dersom alternativet skal realiseres, må moloene dimensjoneres for de rådende forhold. Vi vil likevel anbefale nå at den nordre moloen bygges som en skuldermolo, og at enden på den søndre moloen også utformes som et skuldermolohode. Skuldermoloehoder har vist seg å være effektive som dempere av bølger, og en slik konstruksjon vil bidra til en ytterligere demping av bølgehøyden samtidig som moloen blir mer robust. Det finnes foreløpig ikke noe numerisk verktøy for å beregne eller kvantifisere dempingseffekten av skuldermoloehoder. Som er arbeidshypotese har vi antatt en skulder med 5.0 m bredde og høyde 6.0 m LAT.
- C. Man bør merke seg at de foreslåtte moloene er forholdsvis store konstruksjoner. Den nordligste moloen vil ha fotpunkt ned til ca 35 m dybde, mens den sørligste vil gå ned til ca 20 m på det dypeste. I Alternativ P-S1 har den nordre moloen et volum på ca 245,000 m³, og den søndre er ca dobbelt så lang og har et volum på ca 120,000 m³. Det kan ikke utelukkes at det kan oppnåes et bedre resultat for havna ved å flytte innseilingen møt sør, dvs å forlenge molo Nord og foreta en tilsvarende innkorting av molo Sør. Det som taler imot en slik flytting er for det første at kostnaden for en forlengelse av molo Nord blir vesentlig mye høyere enn innsparingen ved å korte inn molo Sør. I tillegg er potensialet for forbedring lite i hht Figur 8, som viser at bølgehøydene inne i havna allerede er lave. Det er ikke sannsynlig at den forbedringen som kan oppnås vil forsvare de ekstra kostnadene som vil påløpe om innseilingen skal flyttes f eks 25 m mot sør.
- D. Det skal også bemerkes at de utarbeidede tegninger og skisser, samt forutsetninger for trygg innseiling for Hurtigruta er utarbeidet i kartreferanse-systemet Euref 35. I denne delen av Finnmark er det et betydelig avvik mellom Euref 35 og Euref 33, som også brukes. Innseilingskorridoren er definert som et 120 m bredt rektangel ved 7 m dybde LAT, og retning 270° i Euref 35. I denne delen av landet er dette svært nær geografisk 270°.

9 REFERANSER

1. Sverre Bjørdal, Svein Vold og Martin Mathiesen: KJØLLEFJORD HAVN – MODELLFORSØK, SINTEF rapport nr STF80 F01012, mars 2001
2. Lothe A E; Kjøllefjord Havn Ny molo, Norconsult notat datert 2015-01-14
3. Aase A T, Leikvin Ø; Bølgeeksponering for område i Kjøllefjord, Lebesby kommune, Finnmark, 2016, Akvaplan NIVA rapport datert 2016-03-01
4. Lothe A E, Musch, O; Kjøllefjord Alternativ EX1 + BX, Norconsult notat datert 2016-03-18